

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 10-319263 (Ref.4)

(43)Date of publication of application : 04.12.1998

(51)Int.Cl.

G02B 6/13
G02B 6/30
H01L 31/0232
H01S 3/00

(21)Application number : 09-073767

(71)Applicant : HITACHI CABLE LTD

(22)Date of filing : 26.03.1997

(72)Inventor : IMOTO KATSUYUKI

(30)Priority

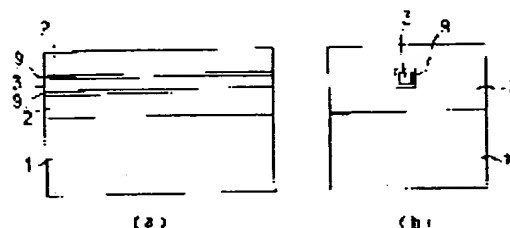
Priority number : 09 60972 Priority date : 14.03.1997 Priority country : JP

(54) OPTICAL WAVEGUIDE AND ITS PRODUCTION AS WELL AS OPTICAL DEVICE

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide an optical waveguide with which the alignment between a single mode optical fiber and a mode film may be easily obtd. and a process for producing the same as well as an optical device.

SOLUTION: This optical waveguide has a substrate 1, a clad layer 2 which is formed on this substrate 1 and consists of SiO₂ and a core layer 3 which contains at least one kind additives for controlling a refractive index in the SiO₂ formed in this clad layer 2. In such a case, the core layer 3 is covered with an intermediate layer 9 consisting of SiO₂ added with fluorine, by which the changes in the refractive index and fluorine concn. distribution are substantially not occurred even if the optical waveguide is subjected to a high-temp. heat treatment at 1000 to 1200° C and the optical waveguide remains stable and, therefore, a high specific refractive index difference is obtd. Since the input and output terminals of the optical waveguide 8 may be provided with mode conversion parts for aligning the optical fiber 5 and the mode film, the connection of the optical waveguide with the optical fiber 5 with low loss is made possible and the reflected light from the juncture may be made extremely little.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or

Particulars of KOKAI (Laid-Open) Specification

Patent KOKAI (Laid-Open) No. 10-319263 (Ref. 4)

Laid-Open Date: December 4, 1998

Request for Examination*1: Not yet

Patent Application No. 9-73767

Application Date: March 26, 1997

Convention Priority(ies): None

Inventors*2: IMOTO, Katsuyuki

Applicant*2: HITACHI DENSEN KK

Title of the Invention: OPTICAL WAVEGUIDE, METHOD OF PRODUCING THE SAME AND OPTICAL DEVICE

(Notes

*1: at laid-open date

*2: Names of individual and corporation have been phonetically translated)

English Language Translations of Selected Parts

[Claim 1]

An optical waveguide comprising:

a substrate;

a clad layer comprising SiO_2 formed on the substrate;

and

a core layer comprising SiO_2 and at least one of additive for controlling a value of index of refraction, the core layer being formed in the clad layer,

wherein the optical waveguide is characterized in that the core layer is covered with an intermediate layer comprising SiO_2 into which fluorine is incorporated.

[Claim 2]

A method of producing an optical waveguide comprising:

arranging an upper electrode and a lower electrode in parallel and in opposition in a reaction chamber vacuum ejected;

applying a high frequency wave of Power RF between both electrodes;

arranging a substrate on one electrode;

heating the substrate to a predetermined temperature "T" by using a heater installed on the electrode;

spraying a vapor of a metal alkoxide, a fluorine gas such as C_2F_5 and O_2 gas from the other electrode side to said electrode side in a shower-like manner;

forming a SiO_2 film into which fluorine is incorporated on the substrate while keeping the vacuum pressure "P" constantly;

forming the core layer on the SiO_2 film;

forming an additional SiO₂ film into which fluorine is incorporated so as to cover the core layer thereby; and conducting the film deposition so as to glow the SiO₂ film into which fluorine is incorporated at a glowing rate of 1000 Å/min or less while keeping the temperature T to a range of 400 to 600 °C, the high frequency Power RF to a range of 350 W or more and the vacuum pressure P to a range of 0.5 Torr or less.

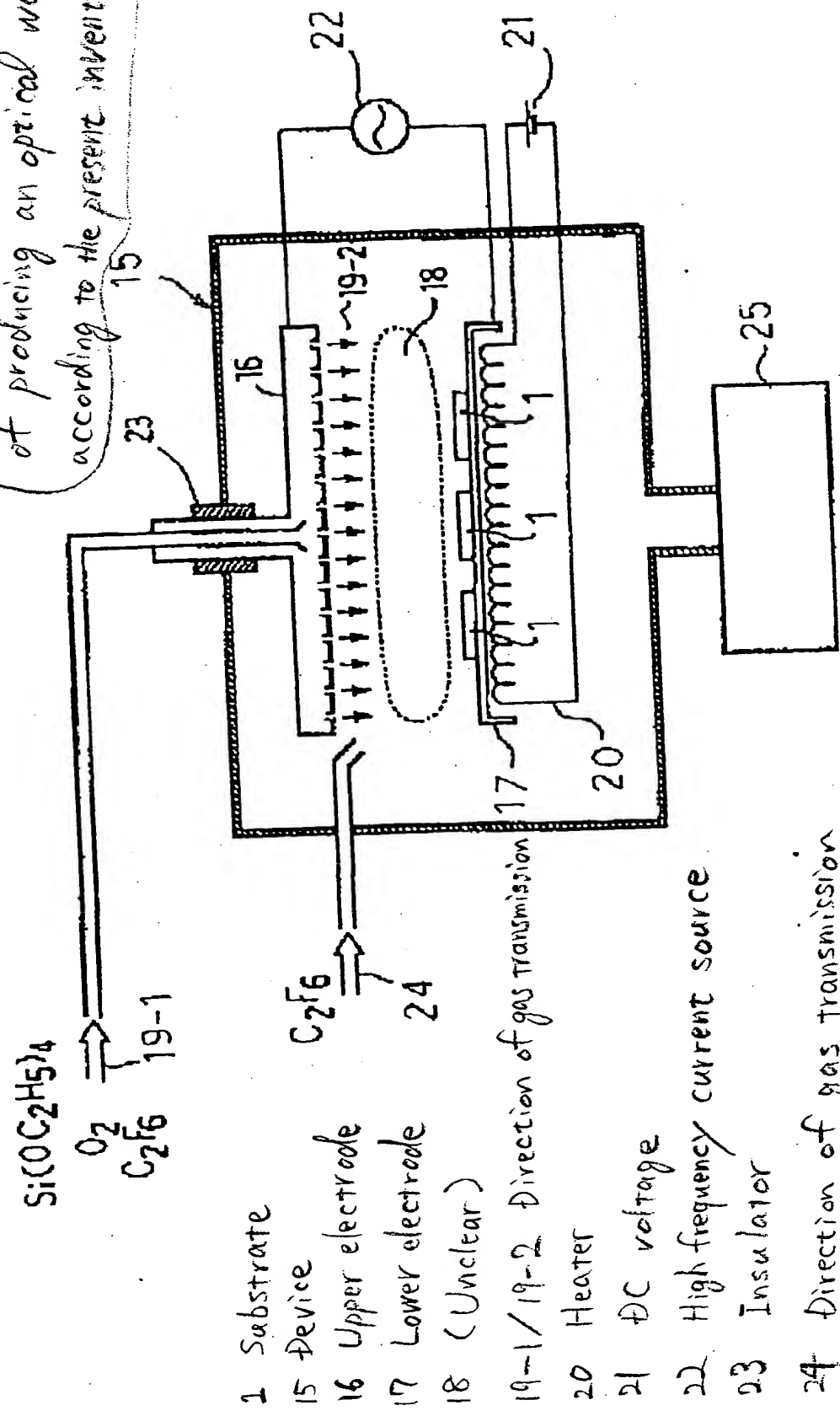
[Claim 3]

A method of producing an optical waveguide according to claim 2,

wherein the SiO₂ film into which fluorine is incorporated is subjected to a heat-treatment at a high temperature of 1000 to 1200 °C, and thereby a variation of index of reflection of the treated film as compared that of the film before the heat-treatment is 0.3 % or less.

Figure 3
[圖 3]

Figure 3 is a schematic drawing of a Plasma CVD Device where a method of producing an optical waveguide according to the present invention is used.



- 1 Substrate
- 15 Device
- 16 Upper electrode
- 17 Lower electrode
- 18 (Unclear)
- 19-1 / 19-2 Direction of gas transmission
- 20 Heater
- 21 DC voltage
- 22 High frequency current source
- 23 Insulator
- 24 Direction of gas transmission
- 25 Vacuum ejecting device

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平10-319263

(43) 公開日 平成10年(1998)12月4日

(51) Int.Cl. ⁸	識別記号	F I	
G 0 2 B 6/13		G 0 2 B 6/12	M
	6/30		6/30
H 0 1 L 31/0232		H 0 1 S 3/00	B
H 0 1 S 3/00		H 0 1 L 31/02	C

審査請求 未請求 請求項の数 7 O L (全 9 頁)

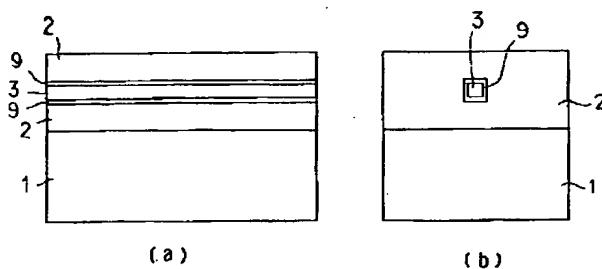
(21) 出願番号	特願平9-73767	(71) 出願人	000005120 日立電線株式会社 東京都千代田区丸の内二丁目1番2号
(22) 出願日	平成9年(1997)3月26日	(72) 発明者	井本 克之 茨城県土浦市木田余町3550番地 日立電線 株式会社アドバンスリサーチセンタ内
(31) 優先権主張番号	特願平9-60972	(74) 代理人	弁理士 網谷 信雄
(32) 優先日	平9(1997)3月14日		
(33) 優先権主張国	日本 (J P)		

(54) 【発明の名称】 光導波路及びその製造方法並びに光デバイス

(57) 【要約】

【課題】 シングルモード光ファイバとモードフィールド整合のとりやすい光導波路及びその製造方法並びに光デバイスを提供する。

【解決手段】 基板1と、その基板1上に形成されSiO₂からなるクラッド層2と、そのクラッド層2の中に形成されSiO₂に屈折率制御用添加剤を少なくとも一種類含んだコア層3とを備えた光導波路において、コア層3を、フッ素が添加されたSiO₂からなる中間層9で覆うことにより、1000℃から1200℃の高温加熱処理を施しても屈折率及びフッ素濃度分布がほとんど変化せず、安定なため、高い比屈折率差が得られる。また、光導波路8の入出力端に光ファイバ5とのモードフィールド整合をとるためのモード変換部を設けることができるので、光ファイバ5と低損失で接続することができ、接続部からの反射光を極端に小さくすることができる。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 基板と、その基板上に形成され SiO_2 からなるクラッド層と、そのクラッド層の中に形成され SiO_2 に屈折率制御用添加剤を少なくとも一種類含んだコア層とを備えた光導波路において、上記コア層がフッ素を添加した SiO_2 からなる中間層で覆われたことを特徴とする光導波路。

【請求項2】 真空排気された反応室内に上部電極と下部電極とを平行に対向配置し、両電極間にパワーRFの高周波を印加し、一方の電極上に基板を配置し、その電極に設けたヒータで基板を所定の温度Tに加熱し、他方の電極側から一方の電極側に向かって金属アルコオキシドの蒸気、 C_2F_6 等のフッ素ガス及び O_2 ガスをシャワー状に吹き付け、一定の真空度Pに保ってフッ素を添加した SiO_2 膜を基板上に形成し、その SiO_2 膜の上にコア層を形成し、コア層を覆うように再度フッ素を添加した SiO_2 膜を形成し、かつ、上記温度Tを400℃から600℃の範囲とし、高周波パワーRFを350W以上とし、真空度Pを0.5 Torr以下に保ち、フッ素を添加した SiO_2 膜の成長速度を毎分1000オングストローム以下として成膜することを特徴とする光導波路の製造方法。

【請求項3】 上記フッ素を添加した SiO_2 膜は、1000℃から1200℃の高温で熱処理し、その膜の屈折率変化が熱処理前と比較して0.3%以下となるようにする請求項2に記載の光導波路の製造方法。

【請求項4】 上記フッ素を添加した SiO_2 膜の屈折率と SiO_2 膜の屈折率との比屈折率差は、少なくとも0.5%よりも大きく、1.23%よりも低い請求項2又は3に記載の光導波路の製造方法。

【請求項5】 基板と、その基板上に形成され SiO_2 からなるクラッド層と、そのクラッド層の中に形成され SiO_2 に屈折率制御用添加剤を少なくとも一種類含んだコア層とを有する光導波路と、該光導波路の入出力端に接続された光ファイバとを備えた光デバイスにおいて、上記コア層がフッ素を添加した SiO_2 からなる中間層で覆われたことを特徴とする光デバイス。

【請求項6】 上記光導波路と上記光ファイバとの接続部付近の中間層に、上記光導波路のコア層に含まれた屈折率制御用添加剤が拡散した請求項5に記載の光デバイス。

【請求項7】 上記光ファイバと上記光導波路とはCO₂レーザビーム照射によって融着された請求項5又は6に記載の光デバイス。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、光導波路及びその製造方法並びに光デバイスに関する。

【0002】

【従来の技術】 光デバイスの低コスト化、小形化、高機

能化をめざして石英系ガラスを用いた導波路型光デバイスの研究開発が活発になっている。

【0003】 図8は、従来のビッグテールファイバ付きの光デバイスを示す図である。

【0004】 同図に示す光デバイスは、光導波路4の入力端10にシングルモード光ファイバ5を接続したものである。光導波路4は、基板1の上にクラッド層2が形成され、そのクラッド層2内に略矩形断面形状のコア層3が形成された構造を有している。この光導波路4は、図8(d)に示すように、コア層3の屈折率 n_1 とクラッド層2の屈折率 n_2 との比屈折率差 Δ が0.8%以上の高 Δ 光導波路である。そのため、コア層3の幅及び厚みは比屈折率差 Δ が高くなる程小さくなり、通常5 μm 以下である。シングルモード光ファイバ5のコア(屈折率 n_c)7とクラッド(屈折率 n_d)6との比屈折率差 Δ は約0.3%であり、コア7の直径 D_7 は約10 μm である。従って、光導波路4とシングルモード光ファイバ5との接続部は、モードフィールド整合をとる必要がある。

【0005】 すなわち、光導波路4の入力端10の導波路断面内(B-B線)の屈折率分布を図8(c)のように拡散分布にしなければならない。この拡散分布は、 SiO_2 に屈折率制御用ドーパントとしてGe, Ti, P, Zn, Sb, Sn等を少なくとも一種類添加したものをコア層3の材料とし、光導波路4の入力端10を加熱して上記ドーパントを拡散させることによって実現する。

【0006】 上記ドーパントを拡散させる方法は、図9(従来の光導波路へのモード変換部形成方法の概略図である。)に示すように、光導波路4の一端(図では右端)をサンプルホルダ12で保持して、サンプルホルダ12内に冷却水を矢印13-1, 13-2方向に流入、流出させて冷却すると共に、光導波路4の他端(図では左端)をヒータ11で加熱する方法である。尚、14は熱拡散領域であり、他端から4mm以上の領域である。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】 ところで、光導波路4の比屈折率差 Δ が1.5%よりも高くなってくると、コア層3の屈折率 n_1 の値が大きくなり、逆にコア層6の幅や厚みが4 μm 以下に小さくなってしまふ。このような光導波路4の構造のものと、シングルモード光ファイバ5との間でモードフィールド整合をとると、図8(c)に示すようにコア層3内のドーパントをクラッド層2内に深く拡散させていかななければならない。このため、コア層6の幅及び厚みが大きくなりすぎてしまふ。すなわち、光導波路4の入力端付近の断面内(B-B線)のコア層の幅及び厚み D_6 がコア7の直径 D_7 よりも大きくなってしまひ、結果的にモードフィールド整合が困難となってしまふ。

【0008】 前述したように、従来の光導波路と、シン

グルモード光ファイバとの接続方法には以下のような問題点がある。

【0009】(1) 光導波路の比屈折率差 Δ が高くなると、シングルモード光ファイバとのモードフィールド整合が困難となる。

【0010】(2) モードフィールド不整合が生じると、接続部での損失が大きくなると共に、接続部での反射が生じる。

【0011】(3) 従来の光導波路構造では、設計の自由度が少なく、シングルモード光ファイバのコア層の屈折率と直径とに整合のとれた屈折率とコア層構造の光デバイスを実現することが困難である。

【0012】そこで、本発明の目的は、上記課題を解決し、シングルモード光ファイバとモードフィールド整合のとりやすい光導波路及びその製造方法並びに光デバイスを提供することにある。

【0013】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するために本発明の光導波路は、基板と、その基板上に形成され SiO_2 からなるクラッド層と、そのクラッド層の中に形成され SiO_2 に屈折率制御用添加剤を少なくとも一

種類含んだコア層とを備えた光導波路において、コア層がフッ素を添加した SiO_2 からなる中間層で覆われたものである。

【0014】本発明の光導波路の製造方法は、真空排気された反応室内に上部電極と下部電極とを平行に対向配置し、両電極間にパワーRFの高周波を印加し、一方の電極上に基板を配置し、その電極に設けたヒータで基板を所定の温度Tに加熱し、他方の電極側から一方の電極側に向けて金属アルコキシドの蒸気、C、F、等のフッ素ガス及び O_2 、ガスをシャワー状に吹き付け、一定の真空度Pに保ってフッ素を添加した SiO_2 膜を基板上に形成し、その SiO_2 膜の上にコア層を形成し、コア層を覆うように再度フッ素を添加した SiO_2 膜を形成し、かつ、温度Tを400℃から600℃の範囲とし、高周波パワーRFを350W以上とし、真空度Pを0.5 Torr以下に保ち、フッ素を添加した SiO_2 膜の成長速度を毎分1000オングストローム以下として成膜するものである。

【0015】上記構成に加え本発明の光導波路の製造方法は、フッ素を添加した SiO_2 膜は、1000℃から1200℃の高温で熱処理し、その膜の屈折率変化が熱処理前と比較して0.3%以下となるようにするのが好ましい。

【0016】上記構成に加え本発明の光導波路の製造方法は、フッ素を添加した SiO_2 膜の屈折率と SiO_2 膜の屈折率との比屈折率差は、少なくとも0.5%よりも大きく、1.23%よりも低いのが好ましい。

【0017】本発明の光デバイスは、基板と、その基板上に形成され SiO_2 からなるクラッド層と、そのクラ

ッド層の中に形成され SiO_2 に屈折率制御用添加剤を少なくとも一種類含んだコア層とを有する光導波路と、光導波路の入出力端に接続された光ファイバとを備えた光デバイスにおいて、コア層がフッ素を添加した SiO_2 からなる中間層で覆われたものである。

【0018】上記構成に加え本発明の光デバイスは、光導波路と光ファイバとの接続部付近の中間層に、光導波路のコア層に含まれた屈折率制御用添加剤が拡散したのが好ましい。

【0019】上記構成に加え本発明の光デバイスは、光ファイバと光導波路とは CO_2 レーザビーム照射によって融着されたのが好ましい。

【0020】本発明によれば、非常に緻密な SiO_2 膜中にフッ素が略均一に添加され、この膜を高温(1000℃~1200℃)で熱処理しても酸素欠陥やフッ素濃度勾配の少ない膜を実現することができる。

【0021】光導波路の低損失化(低吸収損失化、低散乱損失化)のためには、フッ素添加 SiO_2 膜の高温熱処理が必要であるが、本発明によれば、フッ素添加 SiO_2 膜の屈折率は1000℃~1200℃の高温熱処理を施しても熱処理前と比較して最大0.3%しか変化しないので、光導波路用膜に用いることにより良好な特性を得ることができる。

【0022】本発明によれば、光導波路の中間層として、フッ素添加 SiO_2 膜を用いることにより、コア層と中間層との比屈折率差 Δ を最大2.83%まで大きくとることができる。これは中間層とクラッド層との比屈折率差 Δ を0.5%よりも大きく、1.23%よりも低い値を得ることができるためである。

【0023】本発明によれば、光導波路の中間層にフッ素添加 SiO_2 膜を用いることにより、光導波路として、大きな分散値を得ることができる。また、モードフィールド径も従来のコア層とクラッド層とからなるシングルクラッド型に比べ、自由度を大きく、広範囲の値を制御することができる。さらに光導波路の光パワー分布もかなり自由に広範囲に制御することができる。

【0024】本発明によれば、光導波路の入出力端に光ファイバとのモードフィールド整合をとるためのモード変換部を設けることができるので、光ファイバと低損失で接続することができることと、接続部からの反射光を極端に小さくすることができる。

【0025】本発明によれば、光導波路と光ファイバとの接続部からの反射光を極端に小さくすることができることと、 CO_2 レーザビーム照射によって、接続部の融着と光導波路のコア層の屈折率制御用添加剤を中間層内に拡散させることができ、光ファイバとのモードフィールド整合を実現することができる。

【0026】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施の形態を添付図面に基ついて詳述する。

【0027】図1(a)は、本発明の光導波路の一実施の形態を示す正面断面図であり、図1(b)は図1(a)の右側面図である。尚、図8に示した従来例と同様の部材には共通の符号を用いた。

【0028】図1(a)、(b)に示す光導波路は、中間層9に本発明の特徴であるフッ素を添加した SiO_2 膜(後述する図4の曲線LCで示した屈折率の熱処理温度特性を有するフッ素添加 SiO_2 膜)を用いたものである。

【0029】基板1には SiO_2 基板、セラミックス基板等を用いることができる。この基板1上にクラッド層(屈折率 n_2)2が形成されている。クラッド層2には通常、 SiO_2 (波長 $0.63\mu\text{m}$ での n_2 は略1.458)が用いられ、石英系光ファイバのクラッド(SiO_2)と同じ屈折率にするのが好ましい。クラッド層2の中には中間層9で覆われたコア層3が形成されている。中間層9の屈折率 n_9 の値は、フッ素の添加量に応じて1.440から1.455(波長 $0.63\mu\text{m}$ での値)までの範囲に制御することができるが、本発明では屈折率 n_9 を1.440から1.452の範囲にしており、この点に特徴がある。

【0030】コア層(屈折率 n_3)3には、 SiO_2 にGe、Ti、P、Zn、Ta等の屈折率制御用添加剤を少なくとも一種類添加したもの、或いは SiON 等の材質が用いられ、屈折率 n_3 の値としては1.458から1.482(波長 $0.63\mu\text{m}$ での値)の範囲としている。屈折率 n_3 と屈折率 n_9 とから得られる比屈折率差 Δ_{39} の値は0.21%から2.83%の範囲である。

【0031】すなわち、従来の光導波路の場合には図8(d)に示したように、コア層3とクラッド層2との比屈折率差 Δ_{12} を大きくしようとすると、コア層3の屈折率 n_3 を大きくしなければならなかった。また、シングルモード伝送用光導波路とするためには、コア層3の幅或いは厚み D_3 を数 μm 程度に小さくしなければならず、比屈折率差 Δ_{12} を大きくする程コア層の厚みを小さくしなければならなかった。このような状態で、光導波路4と光ファイバ5とのモードフィールド整合をとろうとしても図8(c)のように、コア層3の幅或いは厚み D_3 が大きくなり、光ファイバ5とのモードフィールド不整合を生じた。

【0032】これに対して、本発明では、光導波路8の比屈折率差は屈折率 n_3 の値を大きくしなくても屈折率 n_9 の値を小さくすることによって比屈折率差を大きくすることができる。したがって、後述するように光ファイバ5とのモードフィールド整合も容易である。

【0033】図2(a)は、本発明の光導波路の他の実施の形態を示す正面断面図であり、図2(b)は図2(a)の右側面図である。

【0034】この実施の形態も中間層9にフッ素を添加した SiO_2 膜を用いたものであるが、図1に示した実

施の形態との相違点は、クラッド層2-1の上面全体に、フッ素を添加した SiO_2 膜の中間層9が形成されている点である。このようにクラッド層2-1の上面全体にフッ素を添加した SiO_2 を形成しておくことが、図2の光導波路を簡易に製造する上で有利である。すなわち、図1に示した光導波路では、中間層9-1、9-2の領域を除去する工程を付加しなければならないが、図2に示した光導波路では中間層9-1、9-2の領域を除去する工程が不要となるためである。また、中間層9-1、9-2の領域を除去する工程において、クラッド層2-1及びコア層3の表面がエッチングガスによって荒れ、散乱損失を誘因するが、図2に示す光導波路の場合にはこのような荒れや散乱損失の問題がない。

【0035】次に本発明の光導波路の製造方法について説明する。

【0036】図3は本発明の光導波路の製造方法を適用したプラズマCVD装置の概略図を示す図である。

【0037】プラズマCVD装置15内には、二つの平行平板状の上部電極16及び下部電極17が設けられ、両電極16、17間には高周波電源(高周波パワーRF)22から高周波電圧が印加される。この装置15内は真空排気装置25によって真空中に排気される(真空度P)。下部電極17の上にはクラッド層2-1の形成された基板1が設けられ、その下部電極17の下側に設けられたヒータ20に直流電圧21を印加することによって温度Tに加熱される。上部電極16は、矢印19-1方向から送られてきたガスを上部電極16と下部電極17との間に一様に噴出するためのシャワー電極構造が用いられている。このシャワー構造の上部電極16は、絶縁体23によって装置15と絶縁されている。矢印19-1方向から装置15内に矢印19-2方向に送り込むガスは、 $\text{Si}(\text{OC}_2\text{H}_5)_4$ 、 $\text{Si}(\text{OCH}_3)_4$ 等の金属アルコキシドの蒸気と、 C_2F_6 等のフッ素系ガスを O_2 ガスで搬送したものが用いられる。尚、 C_2F_6 は別に矢印24方向に装置15内に送り込んでよい。

【0038】次に図3に示した装置15を用いて形成したフッ素添加 SiO_2 膜の特性について述べる。

【0039】

【実施例】

(比較例1)

$\text{Si}(\text{OC}_2\text{H}_5)_4$: 12 SCCM
O_2	: 100 SCCM
C_2F_6	: 11 SCCM
ヒータ温度T	: 350°C
高周波パワーRF	: 300W
真空度P	: 0.6 Torr

以上の条件で、 Si 基板1上にフッ素添加 SiO_2 膜を形成(成膜速度毎分2100オングストローム)し、その後、 Si 基板1を5分割し、それぞれの分割した基板

を電気炉内に入れ、 N_2 を毎分5リットル流しながら、それぞれの熱処理温度500℃、800℃、1000℃及び1200℃で熱処理し、それぞれの膜の屈折率を測定した。その結果を図4の曲線LAで示す。

【0040】熱処理温度を高くすることによって屈折率が高くなってしまい、 SiO_2 の屈折率(1.458)よりも低い値を実現することができなかった。この原因は、フッ素添加 SiO_2 膜の密度が低かったために、高温熱処理することによって酸素欠陥の膜になったことによって屈折率が高くなったものと思われる。また、酸素欠陥と共にフッ素も拡散していることが分かった。尚、図4は、図3に示した装置を用いて成膜したフッ素添加 SiO_2 膜の屈折率の熱処理温度依存性を示す図であり、横軸が熱処理温度、縦軸が屈折率を示している。

【0041】(比較例2)

$Si(OC_2H_5)_4$: 12SCCM
 O_2 : 100SCCM
 C_2F_6 : 350℃
 高周波パワーRF : 300W
 真空度P : 0.6 Torr

以上の条件で、 Si 基板1上にフッ素添加 SiO_2 膜を形成(成膜速度毎分約2200オングストローム)し、その後比較例1と同様に Si 基板1を分割し、それぞれの基板を所望の温度で熱処理し、屈折率を評価した。この場合の屈折率特性を図4の曲線LBで示す。

【0042】曲線LAよりは、フッ素添加量が多いので、屈折率は低いが、熱処理温度を高くしていくと、屈折率は、 SiO_2 の屈折率よりも高くなってしまふ。すなわち、この膜も本発明の光導波路用のフッ素添加 SiO_2 膜としては利用できないことが分かった。

【0043】(実施例1)

$Si(OC_2H_5)_4$: 12SCCM
 O_2 : 100SCCM
 C_2F_6 : 11SCCM
 ヒータ温度T : 400℃
 高周波パワーRF : 350W
 真空度P : 0.4 Torr

以上の条件で、 Si 基板1上にフッ素添加 SiO_2 膜を形成(成膜速度毎分940オングストローム)し、その後、比較例1と同様に Si 基板1を分割し、それぞれの基板を所望の温度で熱処理し、屈折率を評価した。この場合の屈折率特性を図4の曲線LCで示す。 SiO_2 の屈折率よりも低い値を実現することができた。これは、基板の加熱温度の高温化、高周波パワーRFの高出力化、高真空度化によって、非常に緻密で安定な膜とすることによって達成されたものである。そのため、高温熱処理しても膜中の酸素が放出されることはなく、それによりフッ素の拡散も抑圧されて膜中を移動しにくくなり、結果的に屈折率の変化しにくい膜が得られたものと思われる。

【0044】(実施例2)

$Si(OC_2H_5)_4$: 12SCCM
 O_2 : 100SCCM
 C_2F_6 : 31SCCM
 ヒータ温度T : 450℃
 高周波パワーRF : 380W
 真空度P : 0.4 Torr

以上の条件で、 Si 基板上にフッ素添加 SiO_2 膜を形成(成膜速度毎分900オングストローム)し、その後、実施例2と同様に Si 基板を分割し、それぞれの基板を所望の熱処理温度で熱処理し、屈折率を評価した。図4の曲線LDに屈折率特性を示す。

【0045】この場合も SiO_2 の屈折率よりも大幅に低い値を実現することができた。また、高温熱処理を行っても屈折率はほとんど変化しない安定な膜であった。これは、より基板の加熱温度を高温化したことと、高周波パワーよりも高出力化したことによってさらに緻密な膜になったために実現したものと思われる。

【0046】また膜中のフッ素の濃度分布をフッ素の二次イオン質量分析法(SIMS)によって調べたが、膜中のフッ素の移動は、膜の表面から10数十nmの深さのところまでにわずかな濃度分布をもっているだけであることが分かった。

【0047】以上の実施例と比較例から、高温熱処理による屈折率の変化が小さく、かつ膜中のフッ素の濃度の勾配分布の小さいフッ素添加 SiO_2 膜を得るには、成膜の際の加熱温度は400℃から600℃の範囲に保ち、高周波パワーRFを350W以上とし、真空度Pを0.5 Torr以下にし、フッ素添加 SiO_2 膜の成膜速度を毎分1000オングストローム以下の条件で成膜しなければならないことが分かった。

【0048】図5(a)は、本発明の光デバイスの断面図であり、図5(b)はD-D線断面内の屈折率分布図、図5(c)はE-E線断面内の屈折率分布図、図5(d)はF-F線断面内の屈折率分布図である。

【0049】この光デバイスは、光導波路8の入力端にシングルモード光ファイバ5を接続した構造を有している。

【0050】図5に示した光導波路8の第1の特徴は、基板1上にクラッド層2が形成され、そのクラッド層2内に中間層9で覆われた略矩形形状のコア層3が設けられた構造を有している点である。

【0051】この光導波路8の比屈折率差 Δ は、図5(d)に示すように、コア層3の屈折率 n_1 と中間層9の屈折率 n_2 とによって決まる。中間層9の屈折率 n_2 は、1.440から1.455の範囲に制御することができるので、コア層3の屈折率 n_1 は図8に示した従来の光導波路のコア層3の屈折率 n_1 よりもかなり低くすることができる。例えば、屈折率 n_1 として1.440を用い、コア層3と中間層9との比屈折率差 Δ を2%に

しようすると、屈折率 n_1 は1.469にすればよく、コア層3とクラッド層2との比屈折率差 Δ は約0.75%となる。図8に示した従来の光導波路4のコア層3とクラッド層2との比屈折率差 Δ を2%とすると、前述したように、コア層3の幅及び厚み D_1 は約3 μm にしなければならなかったが、本発明の光導波路8のコア層3の幅及び厚み D_1 は、厚み D_1 の2倍に近い値にすることができる。このように、厚み D_1 の値を大きくできるので、光ファイバ5との接続損失を小さくでき、しかも容易に接続することができる。

【0052】図5に示した光導波路の第2の特徴は、図5(c)のE-E線断面内の屈折率分布を、光ファイバ5と光導波路8とを CO_2 レーザ照射で融着接続する時に、過剰に CO_2 レーザビームを光導波路8の入力端10付近に照射することにより、コア層3の屈折率制御用ドーパントを拡散させて中間層9内に移動させ、光導波路8のコア層3を光ファイバ5のコア7の直径 D_7 と略等しい幅及び厚みにし、かつ屈折率をコア7の屈折率と略等しくすることができる点である。すなわち、光ファイバ5と光導波路8の入力端でのモードフィールド整合がとれた構成を実現することができる。

【0053】図5に示した光導波路の第3の特徴は、光導波路の分散値は屈折率 n_1 、 n_2 、 n_3 、光導波路のコア層の厚み D_1 及び中間層の厚み t で制御することができ、かつ、大きな値を得ることができる点である。すなわち同図に示す光導波路は従来の光導波路と比べて分散値の設計の自由度が大きいのである。

【0054】図5に示した光導波路の第4の特徴は、モードフィールド径も屈折率 n_1 、 n_2 、 n_3 、コア層の厚み D_1 及び中間層の厚み t で制御することができ、設計の自由度が大きい点である。

【0055】図6は、本発明の光デバイスにモード変換部を形成する方法を説明するための説明図である。同図は光導波路と光ファイバとを CO_2 レーザビームで融着接続すると共に、光導波路のコア層内の屈折率制御用ドーパントを中間層中に拡散させる方法の実施例を示したものである。

【0056】光導波路8の入力端10に光ファイバ5の端面を押しつけた状態で、集光レンズ26で集光された CO_2 レーザビーム27を接続面に照射して融着接続する。 CO_2 レーザビーム27を短時間(1~10秒程度)照射することにより、コア層3内の屈折率制御用ドーパントを中間層9内へ拡散させる。 CO_2 レーザビーム27は、連続発振している出力を照射する場合には、数Wから十数ワットの範囲が好ましい。また CO_2 レーザビーム27の径は100 μm から数百 μm の範囲が好ましい。

【0057】次に、本発明の光導波路及びその製造方法を用いて試作した結果について述べる。

【0058】図2に示した光導波路と同様の構造の光導

波路を試作した。すなわち、 SiO_2 基板1上に SiO_2 クラッド層2-1をプラズマCVD法によって2 μm 成膜し、ついでフッ素を添加した SiO_2 膜の中間層9を実施例1に示した方法で2 μm 成膜した。但し、実施例1においてC、Fの流量は37SCCMとした。そして上記中間層9の上にプラズマCVD法によってNを添加した SiON のコア層3を5 μm 成膜した。この SiON 層は SiH_4 と NH_3 と O_2 ガスを図3に示したプラズマCVD装置の電極間に供給し、プラズマ雰囲気中で成膜した(成膜時のヒータ温度は400℃であった)。その後、1000℃で O_2 雰囲気、3時間熱処理を施した。次にドライエッチングにより、コア層3とフッ素とを添加したクラッド層9を略矩形状(幅6 μm)にパターニングした。ついで、上記パターニングした全表面に、上記フッ素を添加した SiO_2 膜を再度2 μm 形成した。最後に、上記フッ素を添加した SiO_2 膜上に SiO_2 のクラッド層2-2を8 μm 形成した。上記光導波路の伝搬損失を波長1.1 μm から1.6 μm の間で評価した結果、図7に示すように波長1.3 μm から1.6 μm の範囲で0.15dB/cm以下であった。また、波長1.39 μm 付近のOH基による吸収損失や波長1.5 μm 付近のSi-H、N-H基による吸収損失もなかった。すなわち、上記波長帯で吸収基のほとんどない平坦な損失波長特性を実現することができた。尚、図7は本発明の光導波路の損失波長特性図であり、横軸が波長を示し、縦軸が伝搬損失を示している。光導波路の比屈折率差 Δ は、 SiO_2 クラッド層2-1(2-2)とフッ素を添加した SiO_2 の中間層9との比屈折率差は約2%、コア層3と SiO_2 クラッド層2-1(2-2)との比屈折率差は約0.8%であった。ここで、通常、上記 SiON のコア層3中には、O-H基、Si-H基及びN-H基の吸収基が混入しており、その中でも、O-H基は1000℃の熱処理でほとんど蒸発してなくなるが、Si-H基及びN-H基に関しては1200℃以上にしないと、なかなか取り除くことができなかった。これに対して本発明の構造によりこれらの吸収基を取り除くことができた。これは、1000℃の熱処理中に、中間層9中のフッ素イオンがコア層3中のO-H基、Si-H基、N-H基のHと反応し、反応したH-F基は蒸発してしまうために、コア層9中のO-H基、Si-H基及びN-H基が取り除かれた結果低損失化が実現されたものと考えられる。

【0059】このように、コア層3とクラッド層2-1(2-2)との間にフッ素を添加した SiO_2 層を設け、高温熱処理を行うことにより低損失化を図れることが確認された。これは本発明の新たな効果として極めて特長あるものである。尚、クラッド層2-2を成膜した後、さらに高温熱処理を行えば、より低損失化を図ることができる。

【0060】本発明は、上述した実施の形態或いは実施

例に限定されない。図3において、基板1を上部電極16側に取り付け、種々のガスを下部電極17の下方側から各電極に設けられたシャワー電極構造部から吹き出させるようにしてもよい。その場合、基板1の加熱は、上部電極16側に取り付けたヒータで行う。また図3に示すプラズマCVD装置15は、中間層を形成する他、クラッド層形成用、コア層形成用に用いることができる。さらに図5に示した光デバイスに用いる光ファイバ5としては、通常のシングルモードファイバ以外に分散シフトファイバ、分散補償ファイバ、ノンゼロ分散シフトファイバ等を用いてもよい。また、図5において、光ファイバ5と光導波路8とは、融着接続以外の接続方法として、光ファイバを光導波路端面に突き合わせ、その突き合わせた付近を接着剤で固定してもよい。その場合には、光ファイバと光導波路との間に屈折率整合剤を介在させるのが好ましい。また、光導波路端面付近のモードフィールド整合部は、予め、CO₂レーザビーム照射により形成しておいてから接続する。

【0061】図1及び図2に示した光導波路は、光導波路の製造途中の段階（クラッド層及び中間層を形成後、又はクラッド層、中間層及びコア層を形成した後、或いはコア層をフォトリソグラフィ及びドライエッチングにより略矩形形状にパターニングした後等）、又は製造終了時に1000℃から1200℃の高温で熱処理を施し、光導波路の低損失化を図る。

【0062】以上において、本発明によれば、
(1) 光導波路のコア層とクラッド層との間の中間層に、1000℃から1200℃の高温処理を施しても屈折率及びフッ素濃度分布のほとんど変化しない安定なフッ素添加SiO₂膜を用いることにより、高い比屈折率差を実現することができる。

【0063】(2) 光導波路のコア層と中間層との比屈折率差 $\Delta_{c,i}$ として、1.23%を得ることができるので、コア層とクラッド層との比屈折率差 $\Delta_{c,c}$ は、光ファイバのコア層とクラッドとの比屈折率差（通常0.3%）に合わせることができるという利点がある。さらに、本発明の光導波路は光ファイバのコア層とクラッド層との比屈折率差（通常0.3%）に合わせることができる。尚、従来の高比屈折率差導波路では、コア層とクラッド層との比屈折率差 $\Delta_{c,c}$ を1%以上にしなければならず、前述したように、光ファイバとのモード整合が困難であった。

【0064】(3) フッ素添加SiO₂膜は、1000℃から1200℃の高温熱処理にも安定であるので、光導波路自体を高温熱処理することによって、コア層、クラッド層及び中間層中に含まれている不純物（OH基、CH基、Si-H基等の吸収差）による吸収損失を低減することができる。また、上記各層の緻密化も図れるので、微小な構造不均一による散乱損失も低減することができる。さらに、各層間の構造不整も低減することがで

き、これによる散乱損失も低減することができる。

【0065】(4) 光ファイバとの屈折率及び構造の両面からモードフィールド整合がとれるので、接続部の損失を大幅に低減することができる。

【0066】(5) 屈折率 n_1 、 n_2 、 n_3 、光導波路のコア層の厚みD、及び中間層の厚み t のパラメータを用いてモードフィールド径、光パワー分布、分散特性等を設計することができるので、従来の光導波路よりも設計の自由度が大きい。

10 【0067】(6) 光導波路の入出力端側の光ファイバ接続部にモード変換部を容易に設けることができる。

【0068】

【発明の効果】以上要するに本発明によれば、次のような優れた効果を発揮する。

【0069】シングルモード光ファイバとモードフィールド整合のとりやすい光導波路及びその製造方法並びに光デバイスの提供を実現することができる。

【図面の簡単な説明】

20 【図1】(a)は、本発明の光導波路の一実施の形態を示す正面断面図であり、(b)は(a)の右側面図である。

【図2】(a)は、本発明の光導波路の他の実施の形態を示す正面断面図であり、(b)は(a)の右側面図である。

【図3】本発明の光導波路の製造方法を適用したプラズマCVD装置の概略図を示す図である。

【図4】図3に示した装置を用いて成膜したフッ素添加SiO₂膜の屈折率の熱処理温度依存性を示す図である。

30 【図5】(a)は、本発明の光デバイスの断面図であり、(b)はD-D線断面内の屈折率分布図、(c)はE-E線断面内の屈折率分布図、(d)はF-F線断面内の屈折率分布図である。

【図6】本発明の光デバイスにモード変換部を形成する方法を説明するための説明図である。

【図7】本発明の光導波路の損失波長特性図である。

40 【図8】(a)は、従来のビッグテールファイバ付きの光デバイスの横断面図であり、(b)は(a)のA-A線断面内屈折率分布図、(c)は(a)のB-B線断面内屈折率分布図、(d)はC-C線断面内屈折率分布図である。

【図9】従来の光導波路へのモード変換部形成方法の概略図である。

【符号の説明】

- 1 基板(Si基板)
- 2 クラッド層
- 3 コア層
- 5 光ファイバ
- 8 光導波路
- 50 9 中間層

